

#4/Priority
Paper
4-16-03 PATENT
Attorney Docket No. 72887
C. Moore

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicants: Goh et al.
Application No.:
Filed: Herewith
Title: Interferometer and Its
Fabrication Method
Group Art Unit:
Examiner: Unknown

) CERTIFICATE OF MAILING BY "EXPRESS MAIL"
)
) "Express Mail" Mailing Label Number
) EL 821 497 790 US
)
) Date of Deposit 01/22/02
) I hereby certify that this paper or fee is being
) deposited with the United States Postal Service
) "Express Mail Post Office to Addressee" Service
) under 37 CFR §1.10 on the date indicated above
) and is addressed to the Commissioner of Patents
) and Trademarks, Washington, D.C. 20231.
)
) JOHNNY HAYWARD
) (Typed or printed name of person mailing)
)
) JOHNNY HAYWARD
) (Signature of person mailing)

Jc971 U.S. PTO
10/054618
01/22/02

TRANSMITTAL OF CERTIFIED COPIES OF
FOREIGN PRIORITY DOCUMENTS

Honorable Commissioner of Patents
and Trademarks
ATTENTION: Assistant Commissioner
for Patents
Washington, D.C. 20231

Dear Sir:

Enclosed herewith is a certified copy of a Japanese
foreign priority document, JP 2001-017943, filed
January 26, 2001, which is submitted to comply with 35 U.S.C.
§119, in respect of the above-identified application.

Respectfully submitted,

FITCH, EVEN, TABIN & FLANNERY

By 
James P. Krueger
Registration No. 35,234

Date: January 22, 2002

FITCH, EVEN, TABIN & FLANNERY
120 S. LaSalle St., Suite 1600
Chicago, Illinois 60603
Telephone: (312) 577-7000
Facsimile: (312) 577-7007

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

JC971 U.S. PRO
10/054618
01/22/02

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 1月26日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-017943

出 願 人

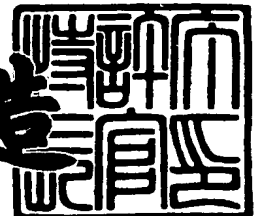
Applicant(s):

日本電信電話株式会社

2001年12月 7日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3107406

【書類名】 特許願

【整理番号】 NTTH126664

【提出日】 平成13年 1月26日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/10

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 郷 隆司

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 阿部 淳

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 井上 靖之

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 才田 隆志

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 奥野 将之

【特許出願人】

【識別番号】 000004226

【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

【代理人】

【識別番号】 100078499

【弁理士】

【氏名又は名称】 光石 俊郎

【電話番号】 03-3583-7058

【選任した代理人】

【識別番号】 100074480

【弁理士】

【氏名又は名称】 光石 忠敬

【電話番号】 03-3583-7058

【選任した代理人】

【識別番号】 100102945

【弁理士】

【氏名又は名称】 田中 康幸

【電話番号】 03-3583-7058

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 020318

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 干渉計光回路及びその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上でクラッド層に屈折率の高いコア部が埋設された光導波路を用いて形成される干渉計光回路で、光導波路近傍の局所的な加熱処理により光導波路の実効屈折率が部分的に恒久的に変化する現象を利用して、この干渉計光回路を構成する光導波路の光路長が調整されている干渉計光回路において、少なくとも 2 種類以上の構造の加熱処理領域を備えていることを特徴とする干渉計光回路。

【請求項 2】 前記加熱処理領域の構造の違いが、加熱処理領域の幅の違いであることを特徴とする請求項 1 記載の干渉計光回路。

【請求項 3】 前記加熱処理領域の幅が、少なくとも一種類の加熱処理領域ではコア部中心からクラッド表面までの距離 d の 2.6 倍以上、或いは少なくとも一種類の加熱処理領域ではコア部中心からクラッド表面までの距離 d の 1.4 倍以下であることを特徴とする請求項 2 記載の干渉計光回路。

【請求項 4】 前記加熱処理領域の構造の違いが、光導波路から加熱処理領域までの距離の違いであることを特徴とする請求項 1 記載の干渉計光回路。

【請求項 5】 前記加熱処理領域の構造の違いが、加熱処理領域中に光導波路方向に沿ったスリットの有無、或いはそのスリット幅の違いであることを特徴とする請求項 1 記載の干渉計光回路。

【請求項 6】 前記加熱処理領域の構造の違いが、光導波路周囲のクラッドを部分的に除去して構成されるトレンチの有無、或いは光導波路からトレンチまでの距離或いはトレンチの深さの違いであることを特徴とする請求項 1 記載の干渉計光回路。

【請求項 7】 前記干渉計光回路が、偏光方向に依存する固定の遅延手段を備えていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 6 の何れか一項に記載の干渉計光回路。

【請求項 8】 前記干渉計光回路が、1 つ以上の光カプラーとこれら光カプラーに接続される複数本の光導波路からなることを特徴とする請求項 1 乃至請求

項 7 の何れか一項の干渉計光回路。

【請求項 9】 前記干渉計光回路が、2つの 2×2 光カプラーとこれら光カプラーを接続する2本の光導波路からなり、

局所的な加熱処理により、この2本の光導波路の光路長差（遅延差）が、TE偏光については $\lambda/2$ （但し λ は波長）の奇数倍であり、TM偏光については $\lambda/2$ の偶数倍、またはTE偏光については $\lambda/2$ の偶数倍であり、TM偏光については $\lambda/2$ の奇数倍であるように調整されていることを特徴とする請求項 8 の干渉計光回路。

【請求項 10】 前記2つの 2×2 光カプラーを接続する2本の光導波路のいずれか或いは両方に偏光依存の固定の遅延手段を備えていることを特徴とする請求項 9 の干渉計光回路。

【請求項 11】 請求項 1 乃至請求項 10 の干渉計光回路において、局所的な加熱処理領域は、光導波路上に形成された薄膜ヒーターであることを特徴とする干渉計光回路製造方法。

【請求項 12】 請求項 1 乃至請求項 10 の干渉計光回路において、局所的な加熱処理の方法が、光導波路上に形成された薄膜ヒーターを用いていることを特徴とする干渉計光回路製造方法。

【請求項 13】 請求項 1 乃至請求項 10 の干渉計光回路において、局所的な加熱処理の方法が、クラッド層を加熱するレーザー照射を用いていることを特徴とする干渉計光回路製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、干渉計光回路及びその製造方法に関するものであり、光通信分野で用いる平面光波回路型におけるTE偏光とTM偏光に対する光路長（位相）を独立に調整できるように工夫したものである。

【0002】

【従来の技術】

基板上に作製される単一モード導波路を用いた光回路は集積性・量産性に優れ

ると云った特徴を持ち、経済的な光ネットワークノードを構築する上で必要不可欠な部品である。特に SiO_2 を主成分とした石英系導波路を用いた光回路は、低損失であり、石英系光ファイバーとの親和性に優れ、また、長期安定性に優れるなどの特徴を持っており、アレイ導波路格子合分波器に代表される数多くの光部品が実用化され、商用システムで使用されるに至っている。

【0003】

これら光部品は、例えば、火炎堆積法 (FHD) や化学気相堆積法 (CVD) などのガラス膜堆積技術と、反応性イオンエッチング法 (RIE) などの微細加工技術を組み合わせて作製される。具体的には、シリコンウェハー等の基板上に下部クラッド層となるガラス膜を堆積し、引き続き、屈折率がクラッド層よりもやや高いコア層を堆積する。そして、光回路となるコアパターンを微細加工技術によりパターン化し、最後に上部クラッド層となるガラス膜を堆積する事で、埋め込み型の光導波路から成る光回路が作製される。

【0004】

通常、FHD法ではガラス膜を透明化するときに熱処理を行い、CVD法でもガラス膜の透明度を上げるために熱処理を行う。この高温プロセスは導波路を構成するガラス膜面内に熱応力を誘起し、結果として導波路の実効屈折率が偏光方向によって異なる導波路複屈折B値を生じさせ、光回路特性に偏光依存性をもたらす。また、この導波路複屈折は作製誤差により、ウェハー面内において微妙に異なっているため、十分な光回路特性を得るためには、光回路個別に且つ回路の局所別に導波路複屈折を調整する必要がある。

【0005】

従来の局所的な導波路複屈折調整技術の例としては、アモルファスシリコン薄膜による応力付与膜を用いる方法などがある (特開平1-77002)。これはアモルファスシリコン薄膜を導波路上に装荷すると導波路に強い引っ張り応力が入り、ガラスの光弾性効果を介して導波路の実効屈折率が変化する現象を利用している。アモルファスシリコン薄膜の形状を変えることで応力分布、すなわち導波路複屈折の制御ができる。また、このアモルファスシリコン薄膜はArレーザー等により除去する事が可能なので、装荷されている長さを光回路特性に合わせ

て微調整することで、導波路複屈折B値を含めた導波路の実効屈折率を調整することができる。

【0006】

このアモルファスシリコン応力付与膜を使った技術は、更に積極的に利用されて偏光分路素子(PBS)の構成要素にも応用されている(例えば、"Birefringence control of silica waveguides on Si and its application to a polarization-beam splitter/switch", Journal of Lightwave Technology, Vol.12, No.4, Apr.1994)。

【0007】

このPBSは、図13に示すように、基板(シリコン基板1)上に作製された石英系導波路からなる2個の3dB光カプラー(50%光結合器)7, 7と2本の導波路アームで構成されたマッハツェンダー干渉計(MZI)に、3種類の幅のアモルファスシリコン応力付与薄膜6a, 6b, 6cを装荷した回路構成となっている。なお、図13において、2a, 2bは導波路コア、3はクラッド層、4'は熱光学位相調整用薄膜ヒータ、5は給電配線及び給電パッド、11a, 11b, 12a, 12bは入出力導波路端である。

【0008】

3種類の幅のアモルファスシリコン応力付与薄膜6a, 6b, 6cのうち、1種類目(6c)は幅 $50\mu\text{m}$ であり、主に導波路複屈折を制御するためのものである。残りの2種類(6a, 6b)は $90\mu\text{m}$ と $100\mu\text{m}$ であり、主に偏光無依存に導波路の実効屈折率を制御するためのものである。これらアモルファスシリコン応力付与薄膜6a, 6b, 6cの長さをArレーザー等により除去し調整することで、2本の導波路アームの光路長差をTM偏光に対して0に、TE偏光に対して $\lambda/2$ (λ :波長)に合わせ込んでいる。従って公知の干渉原理より、入力ポート(11b)に入射された光の内、TM偏光はクロスポート(12a)、TE偏光はバーポート(12b)へ導波し、このMZIはPBSとして機能する。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、このアモルファスシリコン応力付与薄膜を用いた導波路複屈折調整技術はレーザーを用いて最終調整を行っており、数 $10\mu\text{m}$ の精度でレーザー照射の位置あわせを行う必要がある。そのため装置が複雑化し高価になると云った問題があった。

【0010】

一方、導波路の実効屈折率を恒久的に調整（トリミング）する方法として局所加熱トリミング法（例えば、特開平3-267902）が実用化されている。この技術は、導波路上にパターン化された薄膜ヒーターを用いて導波路を局所的に比較的高い電力で加熱処理することにより、恒久的に導波路の実効屈折率を変化させ、光回路の光路長（位相）調整を行うものである。薄膜ヒーターはフォトリソを用いた微細加工技術で形成するため、加熱時に高精度の位置あわせは不要であり単に所定の薄膜ヒーターに通電を行うだけでよい。よって、調整作業は比較的簡易な装置で行うことが出来、また自動化も比較的容易である。しかしながら、この実効屈折率変化の原理や偏光依存性の制御に関しては未解明であったため、導波路複屈折を制御する方法としては不十分であった。

【0011】

【課題を解決するための手段】

研究所の研究員は、鋭意研究の結果、上記局所加熱トリミング法の原理が局所加熱によって主にヒーターとコアの間のクラッド、特にヒーター直下近接のクラッドが変質し（言い換えれば、クラッド表面近傍の膜質が変質する）、その結果、導波路に応力が加わるためであることを見いだした。そして、局所加熱領域の幅 w を調整し応力分布を変えることで、この偏光依存性をほぼ制御できることを実験的に明らかにした。具体的には、図2に示すように、局所加熱領域の幅がオーバークラッド表面からコア中心までの距離の約2倍の w_0 付近（ $\pm 30\%$ ）の場合には実効屈折率の変化はほぼ偏光無依存となり、局所加熱領域の幅がこれよりも広い場合はTM偏光の方が、これよりも狭い場合はTE偏光の方が、優勢に屈折率変化する。

【0012】

従って、局所加熱領域の幅をオーバークラッド表面からコア中心までの距離の

約 2 倍の w_0 よりも広くあるいは狭くすることにより、偏光依存性を持たせて光導波路の恒久的な実効屈折率制御を行うことが出来る。特に 2 種類以上の幅を用いて局所加熱処理を行うことにより、TE 偏光と TM 偏光を完全に独立させて恒久的な実効屈折率制御、すなわち複屈折率制御を行うことが可能となる。

【 0 0 1 3 】

この実効屈折率の偏光依存性は局所加熱によって誘起される応力分布によって決まることから、基本的には応力分布の異なる 2 種類以上の局所加熱処理を用いれば、TE 偏光と TM 偏光を完全に独立して恒久的な実効屈折率制御すなわち複屈折率制御を行うことが可能となる。従って、局所加熱領域の幅以外にも、例えば、局所加熱領域と導波路中心の距離や局所加熱領域の形状などの構造の違いを利用しても良い。更に、局所加熱領域の周辺にクラッドを除去したトレンチ構造を導入し局所加熱による応力形状に変化を与えその位置や深さなどの構造の違いによって、応力形状の変化の違いを出しても良い。

【 0 0 1 4 】

また、この局所加熱による光路長調整はあくまで微調整手段であるので、回路設計上の遅延差が必要な場合はあらかじめ固定の遅延光回路を設けておき、特性向上のための最終的な調整に用いることが望ましい。

【 0 0 1 5 】

加熱処理の手段は上述したように、薄膜ヒーターによる方法が装置コストを考慮すると好ましいが、これに限るものではなく、クラッドを局所的に加熱する手段で有れば良く、例えば、 CO_2 レーザーのような局所的加熱手段であっても構わない。

【 0 0 1 6 】

以上をまとめると、本発明の特徴は次のようなものである。即ち、コア及びクラッドからなる光導波路において、局所加熱により導波路の屈折率を恒久的に変える事ができるのは、被加熱部分の変成によりコアに応力が加わるためであり、加熱によって変成する領域の幅や、導波路に対する距離や位置を変える事で、TE 偏光の屈折率を TM 偏光の屈折率に比して大きく変化させたり、その逆に TM 偏光の屈折率を大きく変化させたり、または 2 つの偏光の屈折率を等しく変化さ

せたりすることが可能であるという新しい知見が得られた。

本願発明の干渉計光回路及びその製造方法では、上記知見に基づき、偏光に与える影響の異なる少なくとも2種類の加熱領域によって導波路を加熱して屈折率を、従って光路長を調整することを特徴とする。

例えば、TE偏光の屈折率をTM偏光に比して優勢に変化させる第1の加熱領域と、TE偏光とTM偏光の屈折率を等しく変化させる第2の加熱領域を併用すれば、第1の加熱領域によってTE偏光とTM偏光の光路長差を所望の値（例えば $(\lambda/2)$ ）に設定し、その後、両偏光の光路長差を等しくシフトすれば、一つの干渉計において、TEは位相差 $\lambda/2$ 、TMは位相差ゼロに併せ込むことが可能となる。

【0017】

かかる知見に基づき案出した本発明の干渉計光回路の構成は、基板上でクラッド層に屈折率の高いコア部が埋設された光導波路を用いて形成される干渉計光回路で、光導波路近傍の局所的な加熱処理により光導波路の実効屈折率が部分的に恒久的に変化する現象を利用して、この干渉計光回路を構成する光導波路の光路長が調整されている干渉計光回路において、

少なくとも2種類以上の構造の加熱処理領域を備えていることを特徴とする。

【0018】

また本発明の干渉計光回路の構成は、加熱処理領域の構造の違いが、加熱処理領域の幅の違いであったり、

加熱処理領域の幅が、少なくとも一種類の加熱処理領域ではコア部中心からクラッド表面までの距離 d の2.6倍以上、或いは少なくとも一種類の加熱処理領域ではコア部中心からクラッド表面までの距離 d の1.4倍以下であったり、

加熱処理領域の構造の違いが、光導波路から加熱処理領域までの距離の違いであったり、

加熱処理領域の構造の違いが、加熱処理領域中に光導波路方向に沿ったスリットの有無、或いはそのスリット幅の違いであったり、

加熱処理領域の構造の違いが、光導波路周囲のクラッドを部分的に除去して構成されるトレンチの有無、或いは光導波路からトレンチまでの距離或いはトレン

チの深さの違いであったり、

干渉計光回路が、偏光方向に依存する固定の遅延手段を備えていたり、

干渉計光回路が、1つ以上の光カプラーとこれら光カプラーに接続される複数本の光導波路からなっていることを特徴とする。

【0019】

また本発明の干渉計光回路の構成は、干渉計光回路が、2つの 2×2 光カプラーとこれら光カプラーを接続する2本の光導波路からなり、局所的な加熱処理により、この2本の光導波路の光路長差（遅延差）が、TE偏光については $\lambda/2$ （但し λ は波長）の奇数倍であり、TM偏光については $\lambda/2$ の偶数倍、またはTE偏光については $\lambda/2$ の偶数倍であり、TM偏光については $\lambda/2$ の奇数倍であるように調整されていたり、

2つの 2×2 光カプラーを接続する2本の光導波路のいずれか或いは両方に偏光依存の固定の遅延手段を備えていたり、

局所的な加熱処理領域は、光導波路上に形成された薄膜ヒーターであることを特徴とする。

【0020】

また本発明の干渉計光回路の製造方法は、局所的な加熱処理の方法が、光導波路上に形成された薄膜ヒーターを用いていたたり、

局所的な加熱処理の方法が、クラッド層を加熱するレーザー照射を用いていることを特徴とする。

【0021】

【作用】

TE偏光とTM偏光の独立制御性を以下に説明する。具体的に、干渉計光回路の一部分において図1に示すような2種類の幅の局所加熱領域を持った導波路を考える。図1において、1はシリコン基板、2は導波路コア、3はクラッド層、4a、4bは局所加熱処理用の薄膜ヒーター、5は給電電線及び給電パッドである。

【0022】

図1において、幅 w の局所加熱による屈折率変化を各偏光毎に δTE 、 δTM

とする。平均的な偏光における屈折率変化を δa ($= (\delta TE + \delta TM) / 2$)、屈折率変化の偏光依存差を δp ($= \delta TE - \delta TM$) とすると、屈折率依存差 δp は図 2 より近似的に平均屈折率変化 δa に比例するので、 $\delta p = C(w) \cdot \delta a$ と表すことが出来る。ここで、 $C(w)$ は比例係数で、図 2 からわかるように局所加熱領域の幅に依存し、 $w = w_0$ のとき偏光無依存 $C = 0$ となり、 $w > w_0$ のとき TM 偏光優勢 $C < 0$ 、 $w < w_0$ のとき TE 偏光優勢 $C > 0$ となる。図 1 のように 2 種類の幅 w_1 、 w_2 の局所加熱領域を持った導波路の場合、トータルの平均屈折率変化 δA とトータルの偏光依存屈折率差 δP は、それぞれ、

$$\delta A = \delta a_1 + \delta a_2 \quad \dots (1a)$$

$$\delta P = \delta p_1 + \delta p_2 = C(w_1) \cdot \delta a_1 + C(w_2) \cdot \delta a_2 \quad \dots (1b)$$

となる。従って、 $C(w_1) \neq C(w_2)$ の場合この方程式の行列式 $\neq 0$ であるので、任意の δA 、 δP を満たす δa_1 、 δa_2 が必ず一意に存在する。よって、平均屈折率変化 δA と偏光依存屈折率差 δP は完全に独立して制御することが可能、すなわち TE 偏光と TM 偏光も完全に独立して制御することが可能となる。

【0023】

局所加熱処理の場合、通常、屈折率変化はプラスの値をとるので、 δa_1 、 $\delta a_2 > 0$ という制限があるが、干渉計光回路の光路長差は相対的なものであるので、マイナスの値を考慮する場合は、他の経路の光路長をプラスすれば良い。

【0024】

以上説明したように、2 種類以上の構造を持った局所加熱領域を備えることで、実効屈折率変化の偏光依存性が異なる独立した調整パラメータを 2 つ以上持つことになり、その結果、TE 偏光と TM 偏光も完全に独立して制御することが可能となる。

【0025】

【発明の実施の形態】

以下、具体的な実施例を用いて本発明を説明する。尚、以下の実施例では、シリコン基板上に作製された石英系の単一モード光導波路を用いた構成としているが、これは冒頭述べたように、石英系の導波路が極めて低損失で長期安定性に優

れ、通信用石英ファイバーとの親和性に優れているためである。しかしながら、本発明は、クラッドの局所加熱による応力制御が可能なすべての材料に適用可能であることは明白であり、例えば、基板材料として石英基板やサファイヤ基板など、また光導波路として多成分ガラスや高分子材料、ニオブ酸リチウムなど、他の材料の組み合わせでも構わないことは勿論である。

また、図1や図13で用いた部材と同一機能をはたす部材には同一符号を付して重複する説明は省略する。

【0026】

[実施例1：PBS1]

図3に第一の実施例である、干渉計光回路として使用する偏光分離素子（PBS）の構成例を示す。なお図3（a）は平面図、図3（b）は図3（a）における線分B-B'に沿った断面図、図3（c）は図3（a）におけるC-C'に沿った断面図である。また図3において、8は応力解放溝（ $\lambda/2$ 偏光依存遅延手段）、41a、41bは局所加熱処理用の薄膜ヒーター（ $w \doteq w_0$ ）、42a、42bは局所加熱処理用の薄膜ヒーター（ $w > w_0$ ）、43a、43bは局所加熱処理用の薄膜ヒーター（ $w < w_0$ ）である。

【0027】

このPBSは、2個の50%光結合器（3dBカプラー）7、7およびこれらカプラーを結ぶ2本の導波路アーム、入出力端とカプラーを結ぶ入出力導波路で構成されたMZI干渉計にTE偏光とTM偏光の偏光方向に依存して約 $\lambda/2$ （ λ ：波長）の光路長変化を与える $\lambda/2$ 偏光依存遅延手段8、および両側の導波路アームに3種類の幅の局所加熱手段である薄膜ヒーター41a、41b、42a、42b、43a、43bを用いて備えている。

【0028】

今回のPBSでは、3dBカプラー7、7として、二本の導波路を数 μm まで近接して構成される方向性結合器を用いた。これは方向性結合器が他の手段に比べて挿入損失が低いためである。しかしながら、3dBカプラーはこの構成に限定されるものではなく、他の手段、例えばマルチモード導波路を用いたマルチモード干渉計（MMI）カプラーやこれらカプラーを複数個従属接続して構成され

る波長無依存カプラー（WINC）などであってももちろん良い。

【0029】

また今回のPBSでは $\lambda/2$ 偏光依存遅延手段として、応力解放溝8を片方の導波路アームに備える構成を用いた（特開昭63-182608）。これは応力解放溝8による構成が低挿入損失であるためである。しかしながら、この $\lambda/2$ 偏光依存遅延手段はこの構成に限らず、他の構成、例えば $\lambda/2$ 波長板を片方の導波路アームに主軸を0度或いは90度にして挿入する構成などでももちろん構わない。更に今回のPBSでは、 $\lambda/2$ 偏光依存遅延差を生じさせるために、応力解放溝8を上側の導波路アーム（導波路コア2a側）に設けたが、遅延差は相対的なものであるから下側の導波路アームに（導波路コア2b側側）に設けても構わないし、両側に設けてその溝の長さ等を上側と下側で差を設けることで $\lambda/2$ 偏光依存遅延差を生じさせてももちろん構わない。

【0030】

また、各導波路アームの光路長は実効屈折率を導波路上で線積分した値で決まるので、 $\lambda/2$ 偏光依存遅延手段8や3種類の幅の局所加熱手段41a, 41b, 42a, 42b, 43a, 43bは導波路アーム上でどの順番で配置されていても良い。

【0031】

この実施例のPBSは、厚さ1mm直径4インチのシリコン基板1上に公知の従来技術を用いて作製した。石英系導波路は SiCl_4 や GeCl_4 などの原料ガスの加水分解反応を利用した火炎加水分解反応堆積技術による石英系ガラス膜の堆積技術と反応性イオンエッチング技術の組み合わせにより作製し、局所加熱用の薄膜ヒータ41a, 41b, 42a, 42b, 43a, 43bは真空蒸着法およびエッチングにより作製して、最後に応力解放溝8を反応性イオンエッチングにより形成した。コアの断面寸法は $6\mu\text{m}$ 角であり、コア2a, 2bは約 $40\mu\text{m}$ のクラッド層3に取り囲まれ、クラッド上部表面から $15\mu\text{m}$ の位置にコア中心がある。コア2a, 2bとクラッド層3間の比屈折率差は0.75%である。

【0032】

2本の導波路アームのアーム長は約20mmでアーム長差は0とし、アーム間隔は1mmとした。応力解放溝8の導波路方向の長さは約1.9mmであり、幅は50 μ mである。導波路中心から応力解放溝8までの距離は25 μ mとした。3種類の薄膜ヒーターは、幅をそれぞれ15 μ m ($<w_0$) (43a, 43b), 30 μ m ($\doteq w_0$) (41a, 41b), 60 μ m ($>w_0$) (42a, 42b)とし、長さは5mmとした。ここで、 w_0 はオーバークラッド表面からコア中心までの距離の約2倍である。

【0033】

このウェハーをダイシングにより切り出してセラミック基板に固定し、入出力導波路端11a, 11b, 12a, 12bにはシングルモードファイバーを接続し、各薄膜ヒータ41a, 41b, 42a, 42b, 43a, 43bには給電配線パッド5を介して給電リードを接続し、PBSモジュールとした。

【0034】

本行程で作製された光回路は、シリコン基板と石英系ガラスの熱膨張係数差のため面内方向に強い圧縮応力が加わっていることから、元々導波路には 4×10^{-4} の複屈折が生じており、TM偏光の方がTE偏光に比べてわずかに高い屈折率となっている。一方、応力解放溝8の部分では応力が解放されているため、複屈折がほぼ0となっている。従って、2本の導波路アームにおける1.9mmの応力解放溝8の有無により、光路長差に約 $\lambda/2$ の偏光依存性が生じる。その結果、今回の回路はTE偏光にとってはほぼ光路長差が0のMZIとなり、TM偏光にとってはほぼ $\lambda/2$ の光路長差を持ったMZIとなり、公知の干渉原理より、入力ポート(11b)に入射された光の内、TE偏光はクロスポート(12a)、TM偏光はバーポート(12b)へ導波する。

【0035】

ここで「ほぼ」と述べたが、作製される光回路は作製誤差をもっており、これら設計光路長差はわずかにずれることが普通であり、十分な消光比特性を得るには、このわずかなずれを正確に合わせ込むことが極めて重要となる。以下にこの合わせ込みの方法、すなわち、今回の発明の中心となる部分について詳しく述べる。

【0036】

図4 (a) に、今回作製したPBSの特性を示す。この特性は幅 $30\mu\text{m}$ の薄膜ヒーターを熱光学位相シフターとして兼用して測定した。横軸は薄膜ヒーターへ加えた駆動電力である。図中右側は上側の薄膜ヒーター41aに、左側は下側の薄膜ヒーター41bに通電している。この図を見てわかるように、駆動電力が0の状態ではTE偏光はバーポート12bへ漏れ込み、またTM偏光もクロスポート12aへ漏れ込んでおり、十分な消光比が得られていない。また、この駆動特性から、十分な消光比特性を得るには、TE偏光に対しては上側アームの実効屈折率を上げて光路長をやや長くし、TM偏光に対しては下側アームの実効屈折率を上げて光路長をやや長くする必要があることがわかる。

【0037】

図2を見てわかるように、各幅の薄膜ヒーターを用いて局所加熱処理を行うことにより、幅 $30\mu\text{m}$ の薄膜ヒーターでは偏光無依存（式1bにおいて $C \doteq 0$ ）に、幅 $15\mu\text{m}$ の薄膜ヒーターではTE偏光を約25%優勢（式1bにおいて $C \doteq 0.25$ ）に、幅 $60\mu\text{m}$ の薄膜ヒーターではTM偏光を約25%優勢（式1bにおいて $C \doteq -0.25$ ）に実効屈折率を増加させることが出来る。

【0038】

今回の調整は、（1）導波路アームのTE偏光での光路長差 ΔL_{TE} （＝上側アーム－下側アーム）とTM偏光での光路長差 ΔL_{TM} の差 ΔL_p （＝ $\Delta L_{TE} - \Delta L_{TM}$ ）を $\lambda/2$ に調整する、（2） $\Delta L_{TE} = 0$ （すなわち、 $\Delta L_{TM} = -\lambda/2$ ）に調整する、の二段階に分けて行った。

【0039】

図4 (a) の回路作製後の状態では、 $\Delta L_p = 0.8 \cdot \lambda/2$ 程度である。上述のように上側アームの幅 $15\mu\text{m}$ の薄膜ヒーター43aまたは下側アームの幅 $60\mu\text{m}$ の薄膜ヒーター42bを用いて局所加熱処理を行うことにより ΔL_p は増加する。各偏光の光路長差 ΔL_{TE} 、 ΔL_{TM} は、何れも、上側アームの薄膜ヒーター43aを用いた場合は増加し、下側アームの薄膜ヒーター42bを用いた場合は減少する。そこで今回は、 ΔL_p の調整の際に ΔL_{TE} 、 ΔL_{TM} があまり大きく一方向に大きくずれないようにするため、薄膜ヒーター43aと薄膜ヒーター

42bの両方を用いて調整を行った。具体的には、薄膜ヒーター43aに7.5Wの電力を、薄膜ヒーター42bに10Wの電力を数秒間ずつ数回に分けて加え、その都度 ΔL_{TE} や ΔL_{TM} の変化を見ながら局所加熱処理を行った。その結果、薄膜ヒーター43aに合計20秒間、薄膜ヒーター42bに合計100秒間、局所加熱処理をしたところ、PBSの位相特性は図4(b)に示すようになり、恒久的に $\Delta L_p = \lambda/2$ となった。

【0040】

ΔL_p は $\lambda/2$ となったものの、 $\Delta L_{TE} = 0.07 \cdot \lambda/2$ である。よって次に、 ΔL_{TE} を0に調整するために、下側アームの幅 $30\mu m$ の薄膜ヒーター41bを用いて局所加熱処理を行った。上述のように、幅 $30\mu m$ の薄膜ヒーターを用いて局所加熱処理を行うと、ほぼ偏光無依存に屈折率が増加するので $\Delta L_p = \lambda/2$ を維持したまま、 ΔL_{TE} の調整を行うことが出来る。具体的には、薄膜ヒーター41bに6Wの電力を10秒間加えて局所加熱処理を行った。その結果、PBSの位相特性は図4(c)に示すようになり、 $\Delta L_p = \lambda/2$ を維持したまま、 $\Delta L_{TE} = 0$ （すなわち、 $\Delta L_{TM} = -\lambda/2$ ）となった。

最終的には、駆動電力が0の状態であっても、挿入損失1dB程度、偏光消光比はTE偏光、TM偏光共に30dB程度の十分な値が得られるようになった。

【0041】

今回の調整では正確を期するために加熱時間を分割して局所加熱処理を行い、 ΔL_{TE} や ΔL_{TM} の変化に合わせて総加熱時間を調節したが、ある程度の誤差を許せば一回の時間にまとめて加熱処理を行っても良い。

【0042】

また、今回の調整では、偏光依存の位相差を調整する段階(1)と、偏光無依存に位相差を調整する段階(2)を完全に分けて調整を行ったが、サンプルによっては(2)の調整後に微妙に ΔL_p がずれる場合がある。その場合は、適宜、(1)の段階に戻って調整すればよい。

【0043】

また、今回の調整では偏光依存の位相差を調整する段階(1)と、偏光無依存に位相差を調整する段階(2)の両方を行ったが、偏光無依存の位相差は例えば

熱光学効果を用いても調整出来るので、(1)のみを行い(2)の段階は省略し熱光学位相シフターで調整しても良い。しかし、この場合は熱光学位相シフターに常に駆動電力を与え続けなければならない、省電力の観点からは(2)の段階も行った方が好ましい。

【0044】

また、今回の調整では、薄膜ヒーター43b, 42aは使用しなかった。これは、今回の初期状態における光路長差の偏光依存差 $\Delta L_{p(0)}$ が最終的に設定する偏光依存差 $\Delta L_{p(f)}$ (今回は $\lambda/2$)に対して小さかったためである。従って、作製誤差の大きさを考慮して、必ず $\Delta L_{p(0)} < \Delta L_{p(f)}$ となるように $\lambda/2$ 偏光依存遅延手段8を設計しておけば、薄膜ヒーター43b, 42aを省くことが出来、回路サイズをより小型にすることが出来る。逆に必ず $\Delta L_{p(0)} > \Delta L_{p(f)}$ となる設計であれば薄膜ヒーター43a, 42bを省くことが出来る。

【0045】

また、上側アームの幅 $15\mu\text{m}$ の薄膜ヒーター43aまたは下側アームの幅 $60\mu\text{m}$ の薄膜ヒーター42bを用いて局所加熱処理を行った場合は ΔL_p が増加し、各偏光の光路長差 ΔL_{TE} , ΔL_{TM} は共に、薄膜ヒーター43aを用いた場合は増加し、薄膜ヒーター42bを用いた場合は減少するので、上側アームでの局所加熱処理量と下側アームでの局所加熱処理量を適当に配分する事により、 ΔL_p を $\lambda/2$ に調整すると共に ΔL_{TE} を0に調整することも可能である。従って、この場合は更に薄膜ヒーター41a, 41bも省略することが出来、回路を小型化することが出来る。これに関しては、実施例2で詳しく述べる。

【0046】

今回のPBSでは導波路アーム間の光路長差はTE偏光に対して0としTM偏光に対して $\lambda/2$ としたが、基本的にはこの導波路アーム間の光路長差がTE偏光で $\lambda/2$ の倍数に、TM偏光ではTE偏光の光路長差に $\lambda/2$ の奇数倍を加減した光路長差であればPBSとして動作する。しかしながらMZIでは光路長差が大きくなると、一般的に波長依存性が大きくなるため十分な消光比が得られる波長帯域が制限されてくる。従って、この光路長差は小さい方が好ましい。

【0047】

[実施例2：PBS2]

図5に第二の実施例である、干渉計光回路として使用する偏光分離素子（PBS）の構成例を示す。図5（a）は平面図、図5（b）は図5（a）における線分B-B'に沿った断面図、図5（c）は図5（a）におけるC-C'に沿った断面図である。構成は第一の実施例のPBSと類似しているが、局所加熱手段としての幅 $15\mu\text{m}$ （ $<w_0$ ）の薄膜ヒーターが43と、幅 $60\mu\text{m}$ （ $>w_0$ ）の薄膜ヒーター42の二種類が各アームにそれぞれ備えられるのみで、数、種類が削減されていることが異なる。また、 $\lambda/2$ 偏光依存遅延手段としての応力解放溝8が 1.7mm とやや短めに設計されており、導波路アーム間の光路長差の偏光依存差 ΔL_p が必ず $\lambda/2$ より小さくなる（すなわち $L_{p(0)} < \Delta L_{p(f)}$ ）ように構成されている点が第一の実施例とは異なる。

【0048】

この実施例の光回路は、第一の実施例と同様な方法で作製されモジュール化されている。

【0049】

薄膜ヒーター43と薄膜ヒーター42を用いて、第一の実施例と同様に特性を想定したところ、 $\Delta L_{TE(0)} = -0.1 \cdot \lambda/2$ 、 $\Delta L_{TM(0)} = -0.8 \cdot \lambda/2$ であり、 $\Delta L_{p(0)} = 0.7 \cdot \lambda/2$ であった。従って、必要な調整量は各偏光に対してそれぞれ $\delta L_{TE} (= \Delta L_{TE(f)} - \Delta L_{TE(0)}) = 0.1 \cdot \lambda/2$ 、 $\delta L_{TM} (= \Delta L_{TM(f)} - \Delta L_{TM(0)}) = -0.2 \cdot \lambda/2$ であるから、偏光依存差の調整量および偏光無依存の光路長調整量はそれぞれ $\delta L_p = 0.3 \cdot \lambda/2$ 、 $\delta L_a = -0.05 \cdot \lambda/2$ となる。

【0050】

さて、薄膜ヒーター43、42の長さは共に $l = 5\text{mm}$ であるので、各薄膜ヒーター43、42の局所加熱処理による偏光無依存の屈折率変化をそれぞれ、 δa_1 、 δa_2 、屈折率変化の偏光依存差をそれぞれ δp_1 、 δp_2 とすると、局所加熱処理による偏光依存差の変化量 δL_p および偏光無依存の光路長変化量 δL_a は

$$\delta L_a = 1 \cdot (\delta a_1 - \delta a_2) \quad \dots (2a)$$

$$\delta L_p = 1 \cdot (\delta p_1 - \delta p_2) = 1 \cdot (C_1 \cdot \delta a_1 - C_2 \cdot \delta a_2) \dots (2b)$$

となる。前述のように、幅 $15 \mu m$ の薄膜ヒーター 43 では $C_1 = 0.25$ 、幅 $60 \mu m$ の薄膜ヒーター 42 では $C_2 = -0.25$ であることから、これらの連立式を解くと、 $\delta a_1 = 8.9 \times 10^{-5}$ 、 $\delta a_2 = 9.7 \times 10^{-5}$ となる。

【0051】

この屈折率変化が得られるよう、薄膜ヒーター 43 に $7.5 W$ の電力を 28 秒間、薄膜ヒーター 42 に $12 W$ の電力を 67 秒間加えて局所加熱処理を行った。その結果、恒久的に $L_{TE} = 0$ 、 $\Delta L_{TM} = -\lambda/2$ となり、駆動電力なしで、挿入損失 $1 dB$ 程度、偏光消光比は TE 偏光、 TM 偏光共に $30 dB$ 程度の十分な値が得られるようになった。

【0052】

[実施例 3 : PBS 3]

図 6 に第三の実施例である、干渉計光回路として使用する偏光分離素子 (PBS) の構成例を示す。図 6 (a) は平面図、図 6 (b) は図 6 (a) における線分 B-B' に沿った断面図である。構成は第二の実施例の PBS と類似しているが、 $\lambda/2$ 偏光依存遅延手段が無い点が、更に局所加熱手段としての薄膜ヒーター 43 a ~ 43 d、42 a ~ 42 d が同一構造にて複数個備えられている点が異なる。また、今回の PBS では後述するように加熱電力量を平準化するために光路長差を $\lambda/2$ 設け、上側の導波路がやや長い構成とした。薄膜ヒーターの合計長さすなわち局所加熱処理領域の合計長は、今回の調整量の大きさを勘案して第二の実施例よりも長い $20 mm$ とした。また、導波路アーム間隔は $250 \mu m$ とした。

【0053】

この実施例の PBS は、第一の実施例と同様な方法で作製されモジュール化されている。

【0054】

薄膜ヒーター 43 a と薄膜ヒーター 42 a を用いて、第一の実施例と同様に特性を測定したところ、 $\Delta L_{TE(0)} = \lambda/2$ 、 $\Delta L_{TM(0)} = \lambda/2$ であり、 $\Delta L_p(0) = 0$ であった。今回の PBS は片方の導波路アームに 4 本の薄膜ヒーターが備

えられており、合計 $l = 20 \text{ mm}$ 長の加熱領域がある。従って、第二の実施例と同様に計算すると必要な屈折率変化は $\delta a_1 = 9.7 \times 10^{-5}$ 、 $\delta a_2 = 5.8 \times 10^{-5}$ となる。

【0055】

この屈折率変化が得られるよう、幅 $15 \mu\text{m}$ ($< w_0$) の薄膜ヒーター 43a ~ 43d に 7.5 W の電力をそれぞれ順番に 50 秒間、幅 $60 \mu\text{m}$ ($> w_0$) の薄膜ヒーター 42a ~ 42d に 10 W の電力をそれぞれ順番に 100 秒間加えて局所加熱処理を行った。その結果、恒久的に $L_{\text{TE}} = 0$ 、 $\Delta L_{\text{TM}} = -\lambda/2$ となり、駆動電力なしで、挿入損失 1 dB 程度、偏光消光比は TE 偏光、 TM 偏光共に 30 dB 程度の十分な値が得られるようになった。

【0056】

さて、同じ電力での加熱の場合、一般的に幅の狭い局所加熱処理の方が幅の広い局所加熱処理に比べて単位面積あたりの加熱密度が高くなるため、図 2 を見てわかるように屈折率変化が大きくなる。そこで今回の PBS では、 MZI に $\lambda/2$ の光路長差を設け、幅 $60 \mu\text{m}$ の薄膜ヒーター 42a ~ 42d による屈折率変化 δa_2 を、幅 $15 \mu\text{m}$ の薄膜ヒーター 43a ~ 43d による屈折率変化 δa_1 に比べて小さくし、加熱電力量を平準化している。

【0057】

今回の局所加熱処理では 4 つに分割された薄膜ヒーター 43a ~ 43d、42a ~ 42d に対して別々に処理を行った。もちろん、同時に処理を行っても良いし、また、上側導波路アームの薄膜ヒーター 43a ~ 43d や下側導波路アームの薄膜ヒーター 42a ~ 42d の一方或いは両方の薄膜ヒーターを四分割しないで一つの長さ 20 mm 薄膜ヒーターとして作製し処理を行っても良いが、その場合特に下側の導波路アームの薄膜ヒーターでは処理電力が 40 W にもなるので、処理の際に強力な基板冷却系が必要となる。

【0058】

また、今回の PBS では、合計 20 mm 長の薄膜ヒーターを等分に分割したが、例えば、 15 mm と 5 mm に不等分に分割し、 15 mm 長を粗調整用、 5 mm 長を微調整用として用いても良い。

【0059】

[実施例4～7：その他の干渉計回路への適用例]

図7に各種干渉計への適用例としての実施例を示す。

【0060】

図7(a)はカプラ間の導波路アームに所望の光路長差を設けたマッハツェンダー干渉計フィルター(透過型干渉フィルターの例)である。

【0061】

図7(b)はカプラから分岐された光路に反射終端9を設け、カプラと反射終端9の往復の光路長差に所望の光路長差を設けたマイケルソン干渉計フィルター(反射型干渉フィルターの例)である。

【0062】

図7(c)は導波路に所望の往復光路長(共振光路長)をおいてハーフミラー(反射率99%程度)10を設けたファブリペロー干渉計フィルター(多重反射型フィルターの例)である。なお、11、12は入出力導波路端である。

【0063】

図7(d)は所望の光路長(共振光路長)をリング回路2cとして設定したリング干渉計フィルターである。

【0064】

これら何れのフィルターも光路長差あるいは共振光路長を所望の長さ ΔL (=実効屈折率 \times 導波路長差)に設定することにより所望の波長(周波数)透過特性を得るものである。しかしながら、実施例1で述べたように導波路の実効屈折率はTM偏光の方がTE偏光に比べてわずかに高い屈折率となっていることから、光路長差や共振光路長はTM偏光の方がTE偏光に比べて長くなる。

【0065】

さて、これら干渉計の波長特性は、注目する波長 λ の近傍では、 $\Delta L_1 = \Delta L$ の光路長差や干渉計でも $\Delta L_2 = \Delta L + m \cdot \lambda$ (m は整数)でもほぼ同じ特性を示すという特徴がある。従って、TM偏光とTE偏光の光路長差を $m \cdot \lambda$ に合わせ込むことが出来れば、見かけ上、波長透過特性の偏光依存性は解消されることになる。そこで、前述の実施例同様の手法を用いて、TM偏光とTE偏光の光路

長差を $m \cdot \lambda$ に合わせ込み、且つ TE 偏光（または TM 偏光）での ΔL の値も所望の値に合わせ込めばよい。また、 $|m|$ が大きくなる、各偏光でほぼ同じ特性を示す波長領域が狭くなることから、 m は出来るだけ 0 に近い方が好ましい。

実際に、これら干渉計において合わせ込みを行ったところ、見かけ上、波長透過特性の偏光依存性が解消された所望の特性が得られた。

【0066】

以上に述べた実施例では、本発明をそれほど複雑でない光回路で実施した。しかしながら、本発明は、これに限定されるものではなく、例えば、マッハツェンダー干渉計を多段に接続されているラティス型フィルタや、多光束干渉フィルタであるアレイ導波路格子等にも適用可能であることはもちろんである。

【0067】

また、以上で説明した実施例では、応力分布の異なる 2 種類以上の局所加熱処理の実現手段として、局所加熱処理領域の幅の違いを用いた。しかしながら、異なる応力部分を誘起させる方法はこれだけではない。

【0068】

例えば、この偏光特性は局所加熱領域の幅 w とオーバークラッド表面からコア中心までの距離 d の関係で決まることから、図 8 に示すように、幅 w を一定としてオーバークラッド厚を d_1 、 d_2 というように、部分的に変えることによって、TE 偏光と TM 偏光を独立して制御することができる。実際に素子を作製したところ独立制御が可能であった。なお図 8 において、21 はクラッド厚調整用ピットである。

【0069】

また、図 9 に示すように局所加熱領域の位置を導波路直上からずらした構造（薄膜ヒーター 4a を導波路直上に位置させ薄膜ヒーター 4b を導波路から S だけずらした構造）や、図 10 に示すように局所加熱領域にスリットを設けそのスリット幅を g_1 、 g_2 と変えた構造や、図 11 に示すように局所加熱領域を複数のストライプに分け、その密度等を変えた構造（薄膜ヒーター 4a の密度が粗で薄膜ヒーター 4a の密度が密の構造）や、図 12 に示すように局所加熱領域の周辺にクラッドを除去したトレンチ構造（応力分布調整溝 22a、22b）を導入し

、その位置や深さなどに違いを与えた構造（応力分布調整溝 2 2 a の位置 CW_1 は近く、応力分布調整溝 2 2 b の位置 CW_2 は遠い構造）でも、実効屈折率の変化に偏光依存性が生じ、上記実施例と同様に T E 偏光と T M 偏光を独立して制御することができた。

【 0 0 7 0 】

また今回、局所加熱の手段はクラッド上に作製した薄膜ヒーターを用いたが、 CO_2 レーザーを局所的に照射しクラッドを加熱する方法でも同様な効果が得られた。

【 0 0 7 1 】

【発明の効果】

以上説明したように、クラッドを局所的に加熱し膜質を変化させ、その変化により応力変化を誘起することで、複屈折率調整を行うことが可能となった。更に、干渉計光回路に 2 種類以上の応力分布誘起構造を持った局所加熱領域を備えることで、恒久的な実効屈折率変化の偏光依存性が異なる独立した調整パラメータを 2 つ以上持つことになり、その結果、T E 偏光と T M 偏光も完全に独立して調整すなわち複屈折率調整を行うことが可能となった。

【 0 0 7 2 】

これら局所加熱処理において、特に薄膜ヒーターを用いることにより局所加熱時に高精度の照射位置合わせなどは不要となり、単に所定の薄膜ヒーターに通電を行うだけ、すなわち、調整作業は比較的簡易な装置で行うことが出来た。このことは本技術を実用化を図る上で極めて有効である。

【 0 0 7 3 】

本発明を偏波分離素子をはじめとする様々な干渉計光回路に応用することにより、干渉光路長を各偏光別に設定通りに調整する事が可能となり、熱光学効果等を用いた位相制御を行うことなく、高い光学特性を得ることが出来るようになった。従って、本発明は干渉計光回路の低消費電力化といった観点からも非常に有益である。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の基本構成を示す構成図であり、(a)は平面図、(b)は(a)のB-B'断面図である。

【図 2】

局所加熱処理による恒久的屈折率変化の様子を示す特性図。

【図 3】

本発明の第一の実施例としての偏光分離素子(PBS)を示す構成図であり、(a)は平面図、(b)は(a)のB-B'断面図、(c)は(a)のC-C'断面図である。

【図 4】

PBSの光路長差の調整状態を示す特性図。

【図 5】

本発明の第二の実施例としての偏光分離素子(PBS)を示す構成図であり、(a)は平面図、(b)は(a)のB-B'断面図、(c)は(a)のC-C'断面図である。

【図 6】

本発明の第三の実施例としての偏光分離素子(PBS)を示す構成図であり、(a)は平面図、(b)は(a)のB-B'断面図である。

【図 7】

本発明の第四～第七の実施例としての偏光分離素子(PBS)を示す構成図であり、(a)は第四の実施例としてのマッハツェンダー型干渉計フィルターを示す平面図、(b)は第五の実施例としてのマイケルソン型干渉計フィルターを示す平面図、(c)は第六の実施例としてのファブリペロー型干渉計フィルターを示す平面図、(d)は第七の実施例としてのリング共振器型干渉計フィルターを示す平面図である。

【図 8】

本発明の基本構成の変形例を示す構成図であり、(a)は平面図、(b)は(a)のB-B'断面図、(c)は(a)のC-C'断面図である。。

【図 9】

本発明の基本構成の変形例を示す構成図であり、(a)は平面図、(b)は(

a) の B - B' 断面図である。

【図 1 0】

本発明の基本構成の変形例を示す構成図であり、(a) は平面図、(b) は (a) の B - B' 断面図である。

【図 1 1】

本発明の基本構成の変形例を示す構成図であり、(a) は平面図、(b) は (a) の B - B' 断面図である。

【図 1 2】

本発明の基本構成の変形例を示す構成図であり、(a) は平面図、(b) は (a) の B - B' 断面図、(c) は (a) の C - C' 断面図である。。

【図 1 3】

従来の偏光分離素子 (PBS) を示す構成図であり、(a) は平面図、(b) は (a) の B - B' 断面図、(c) は (a) の C - C' 断面図である。

【符号の説明】

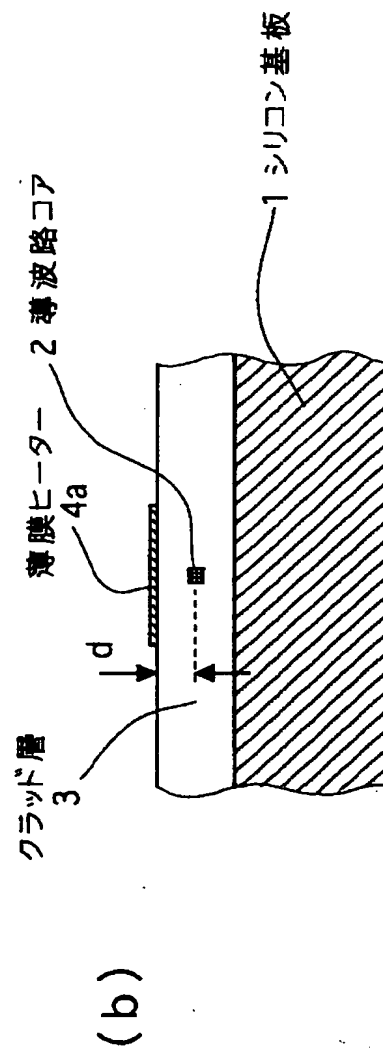
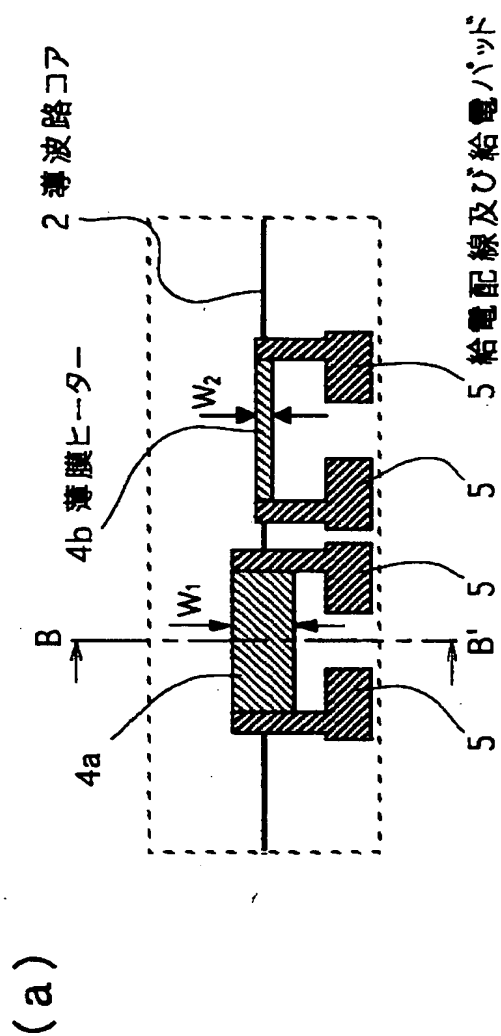
- 1 シリコン基板
- 2, 2 a, 2 b, 2 c 導波路コア
- 3 クラッド層
- 4 a, 4 b 局所加熱処理用薄膜ヒーター (局所加熱領域)
- 4' 熱光学位相調整用薄膜ヒーター
- 5 給電配線及び給電パッド
- 6 a, 6 b, 6 c アモルファスシリコン応力付与薄膜
- 7 50%光結合器 (3 dBカプラー)
- 8 応力解放溝 ($\lambda/2$ 偏光依存遅延手段)
- 9 反射終端
- 10 ハーフミラー
- 11, 11 a, 11 b, 12, 12 a, 12 b 入出力導波路端
- 21 クラッド厚調整用ピット
- 22 a, 22 b 応力分布調整溝
- 41 a, 41 b 局所加熱処理用薄膜ヒーター ($w \doteq w_0$)

4 2, 4 2 a ~ 4 2 d 局所加熱処理用薄膜ヒーター ($w > w_0$)

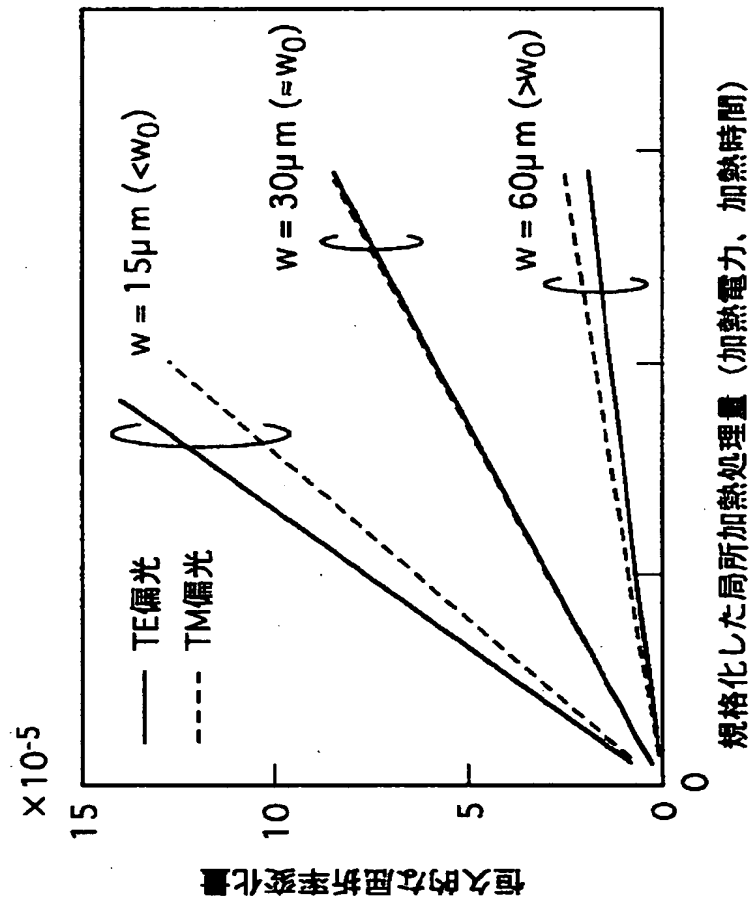
4 3, 4 3 a ~ 4 3 d 局所加熱処理用薄膜ヒーター ($w < w_0$)

【書類名】 図面

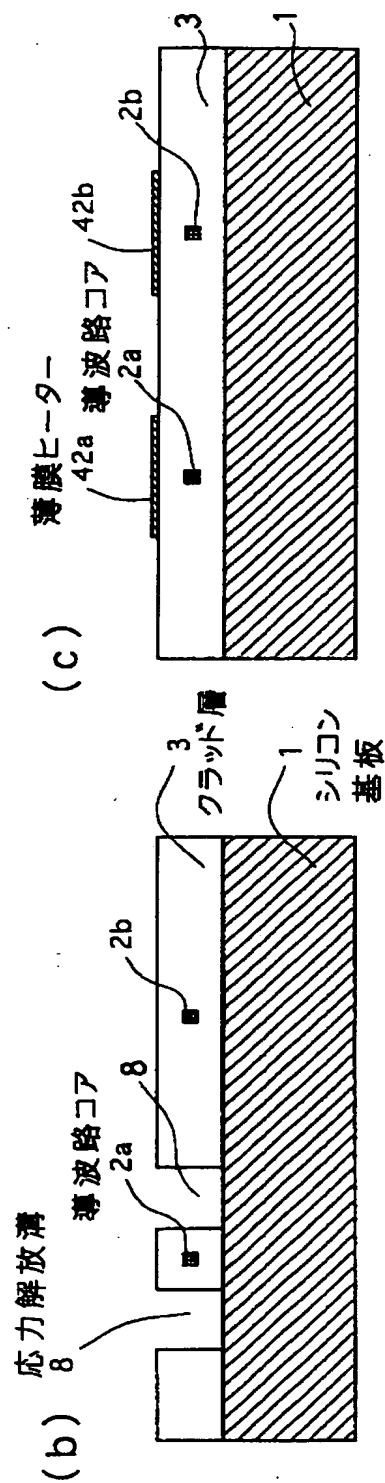
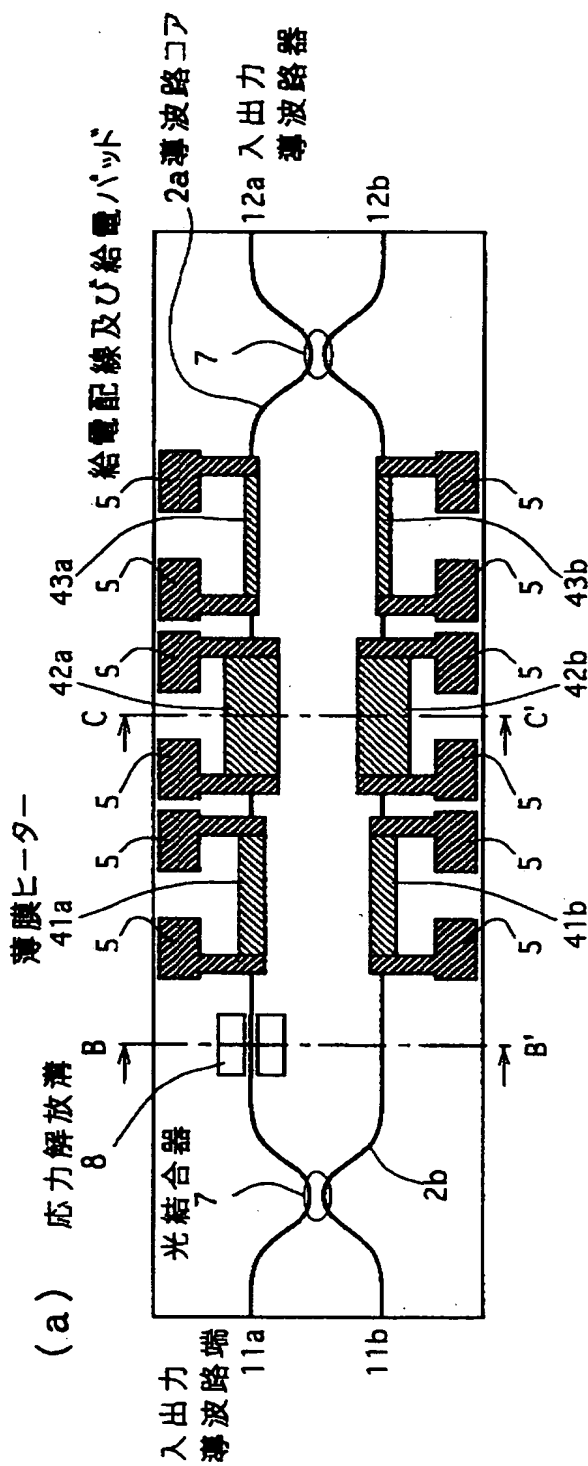
【図 1】



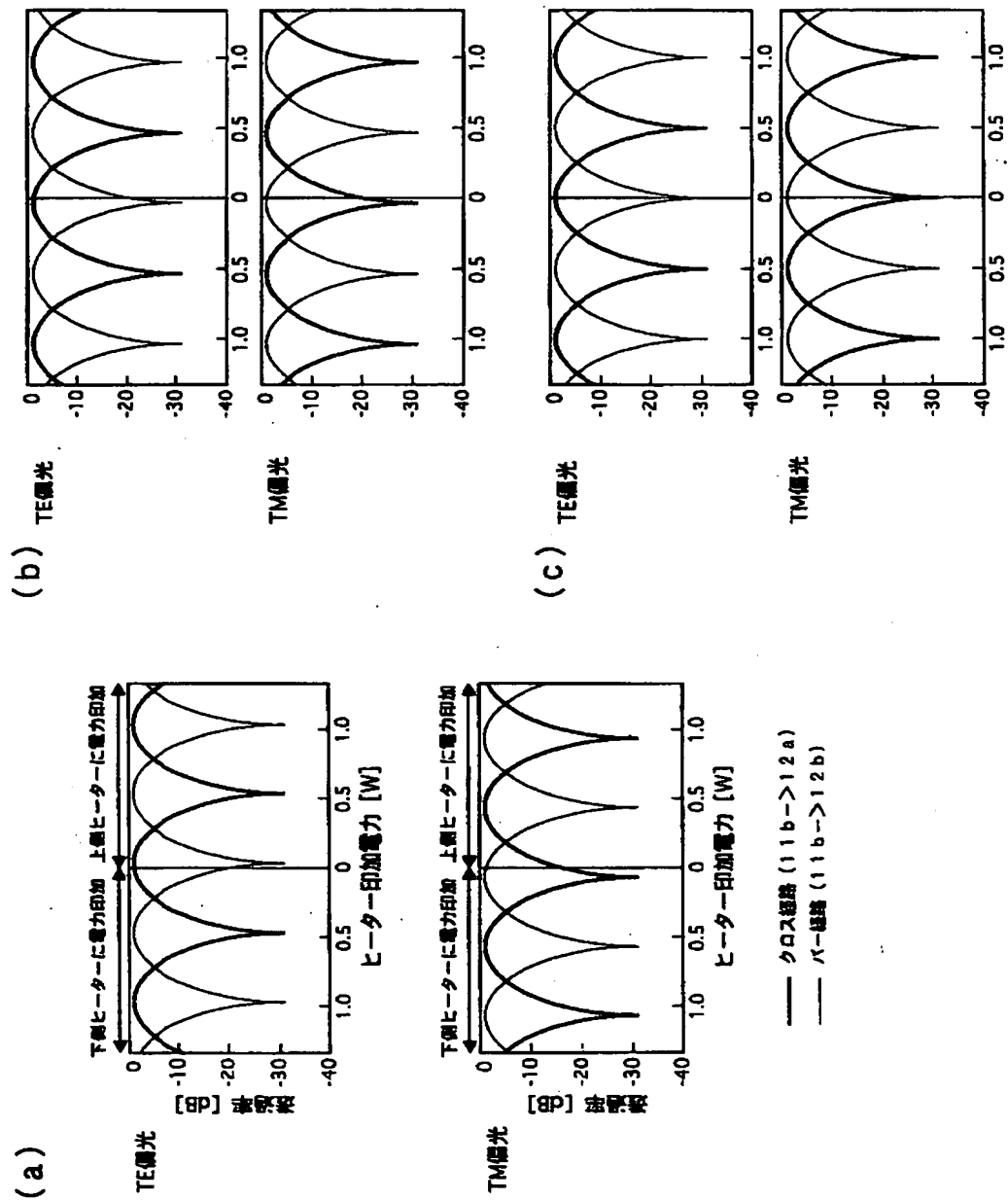
【図2】



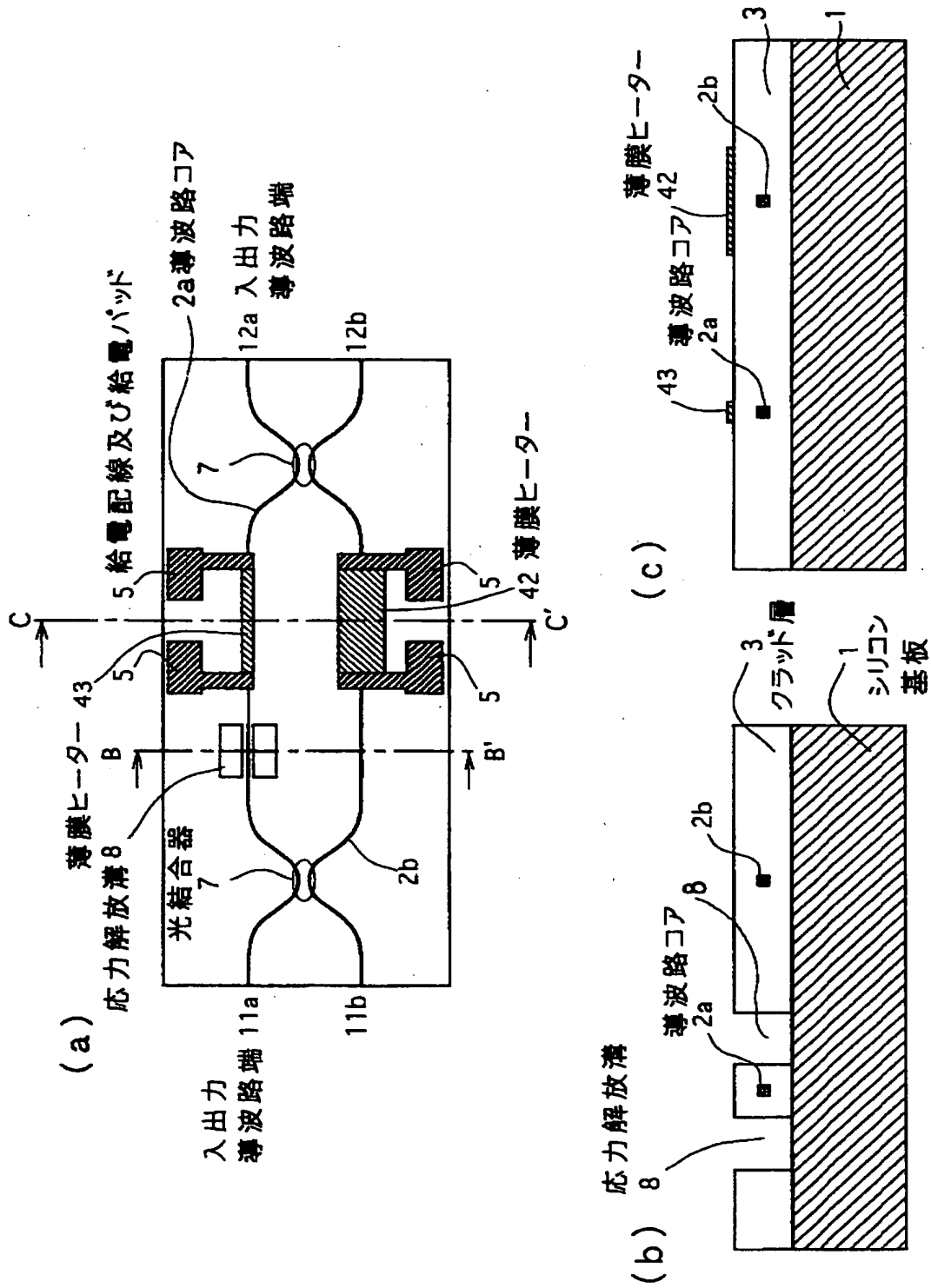
【図3】



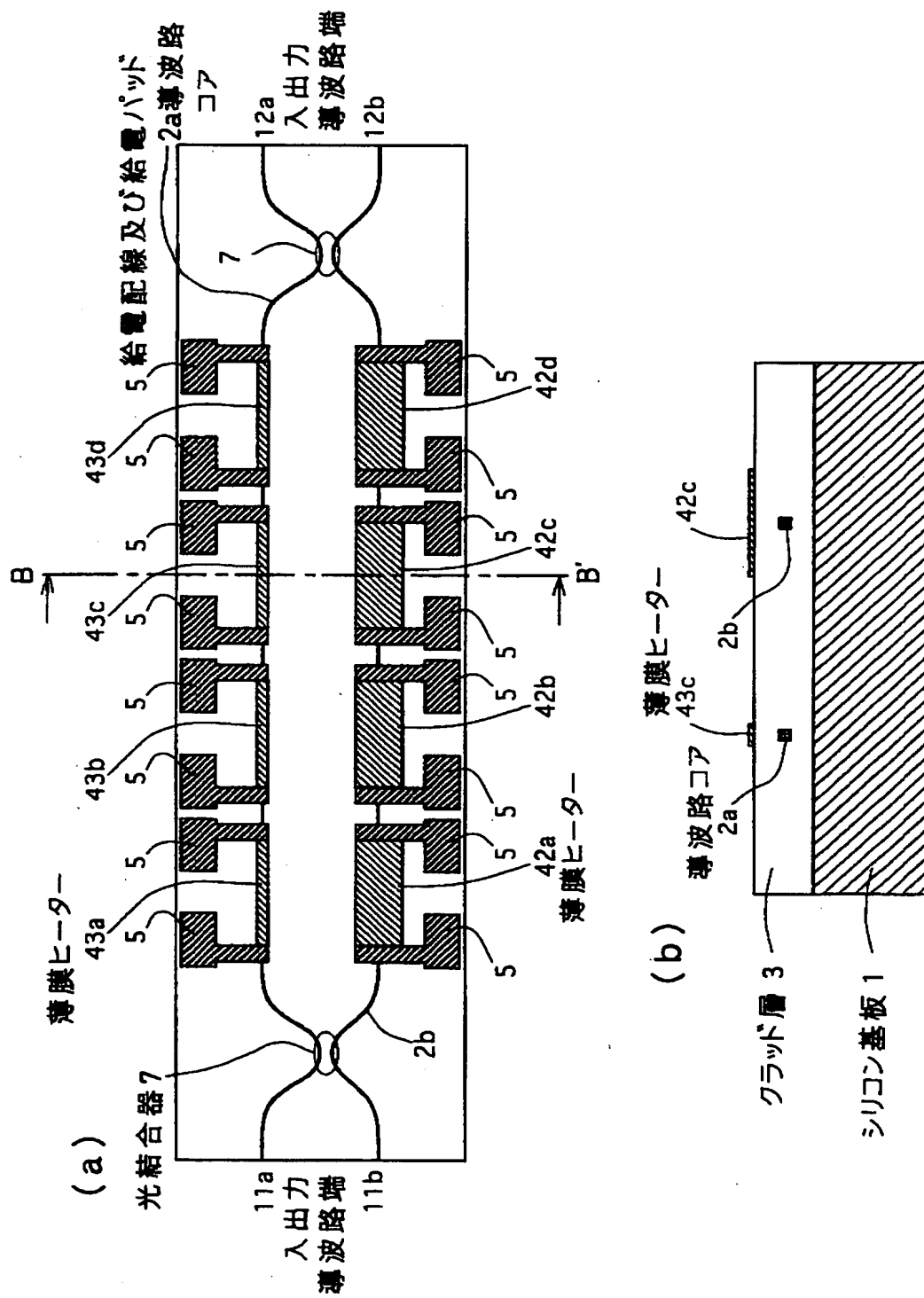
【図 4】



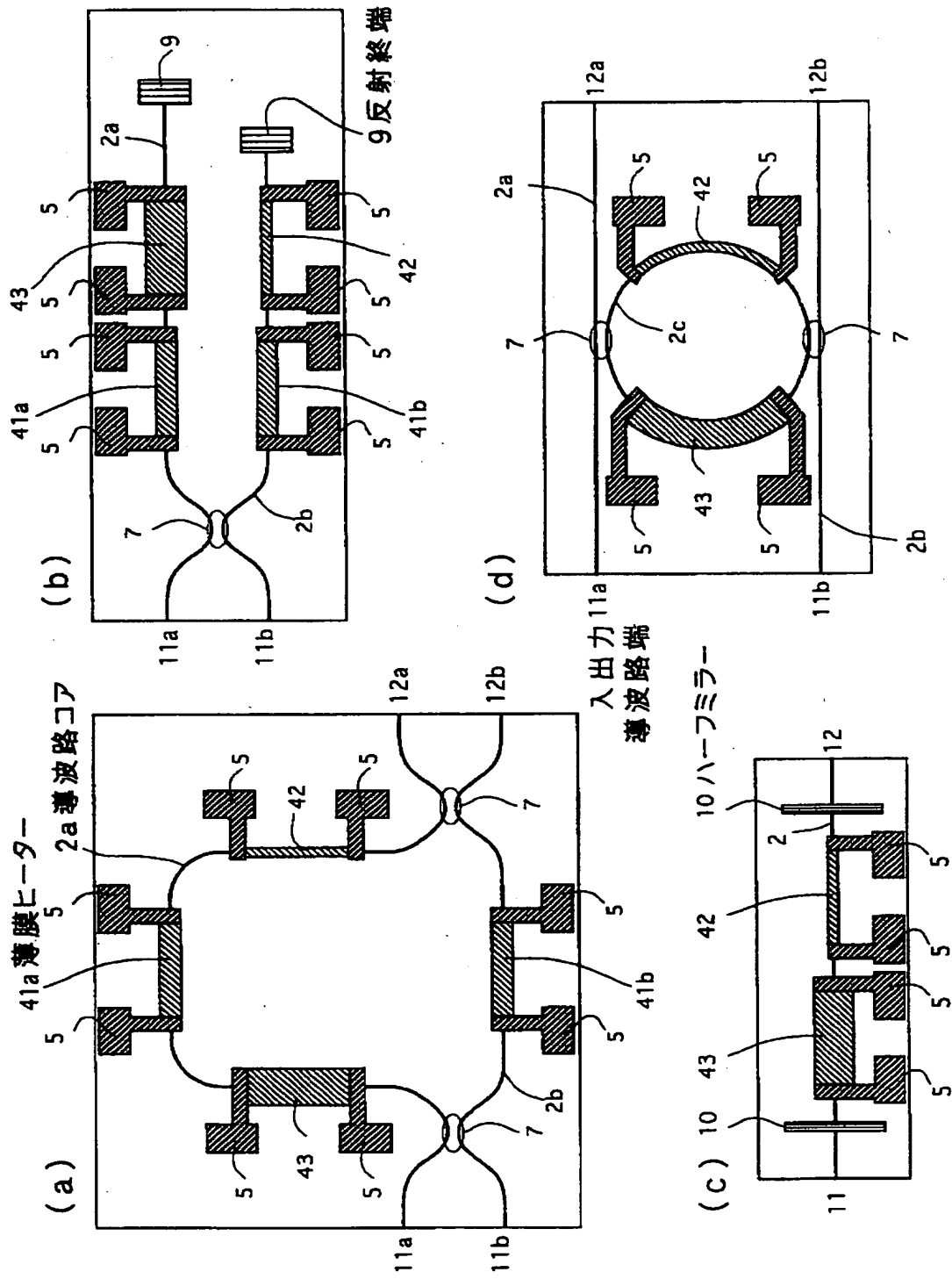
【図 5】



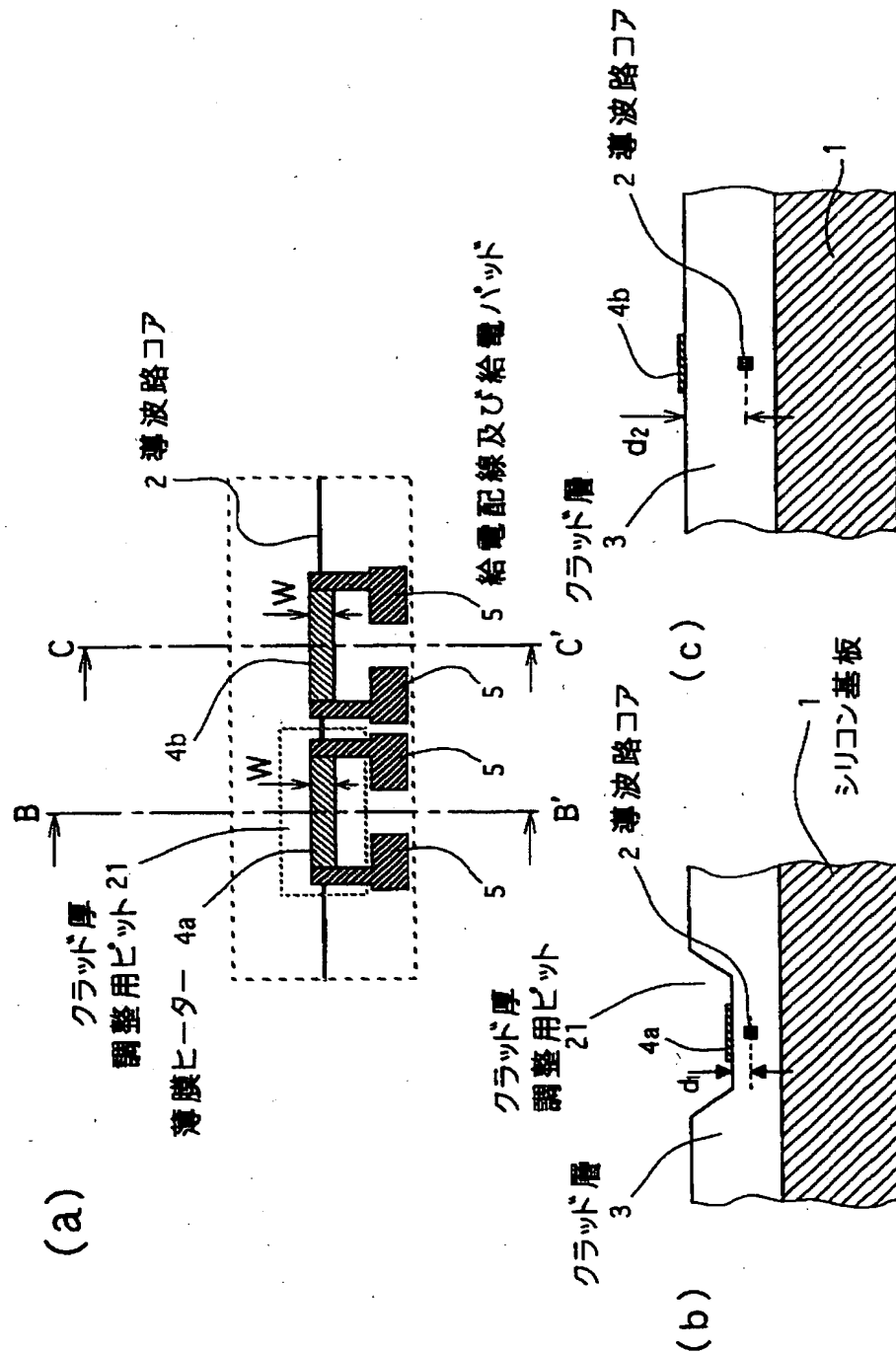
【図 6】



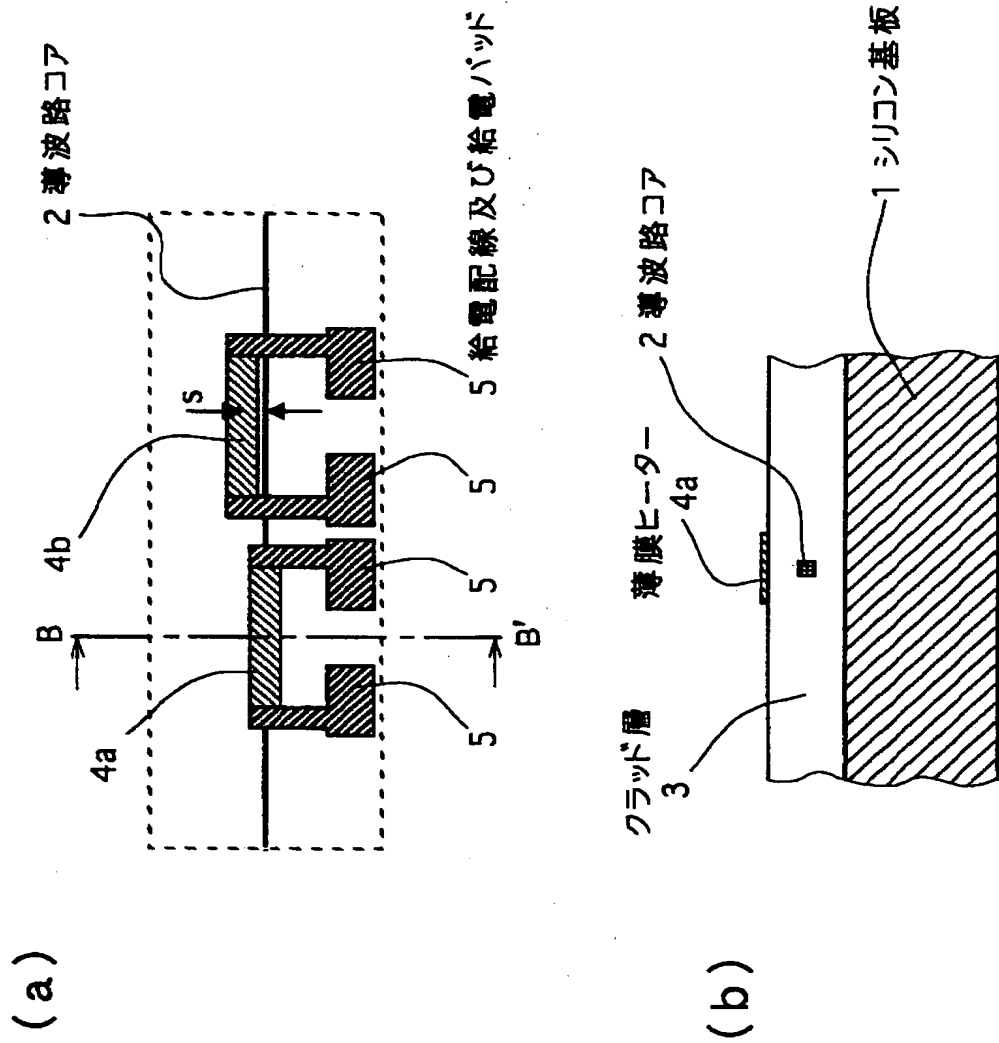
【図7】



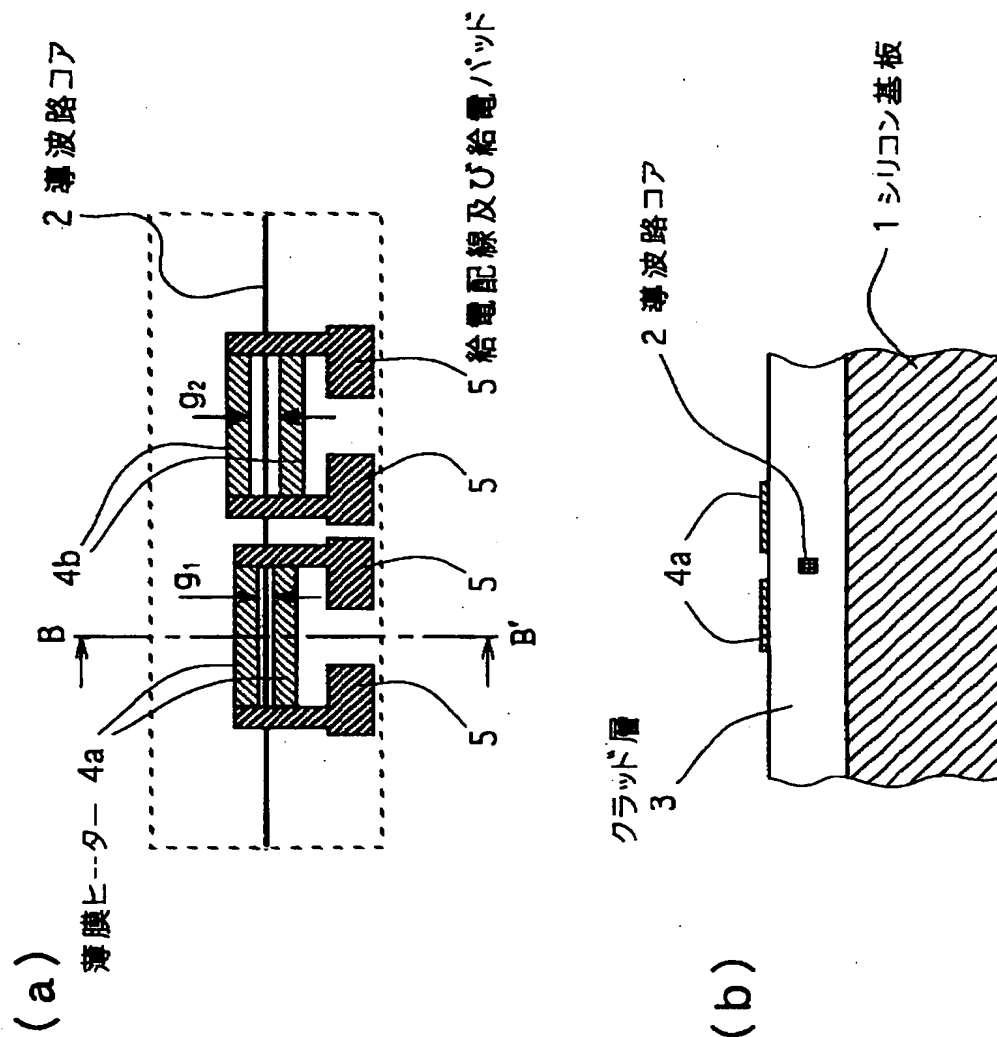
【図 8】



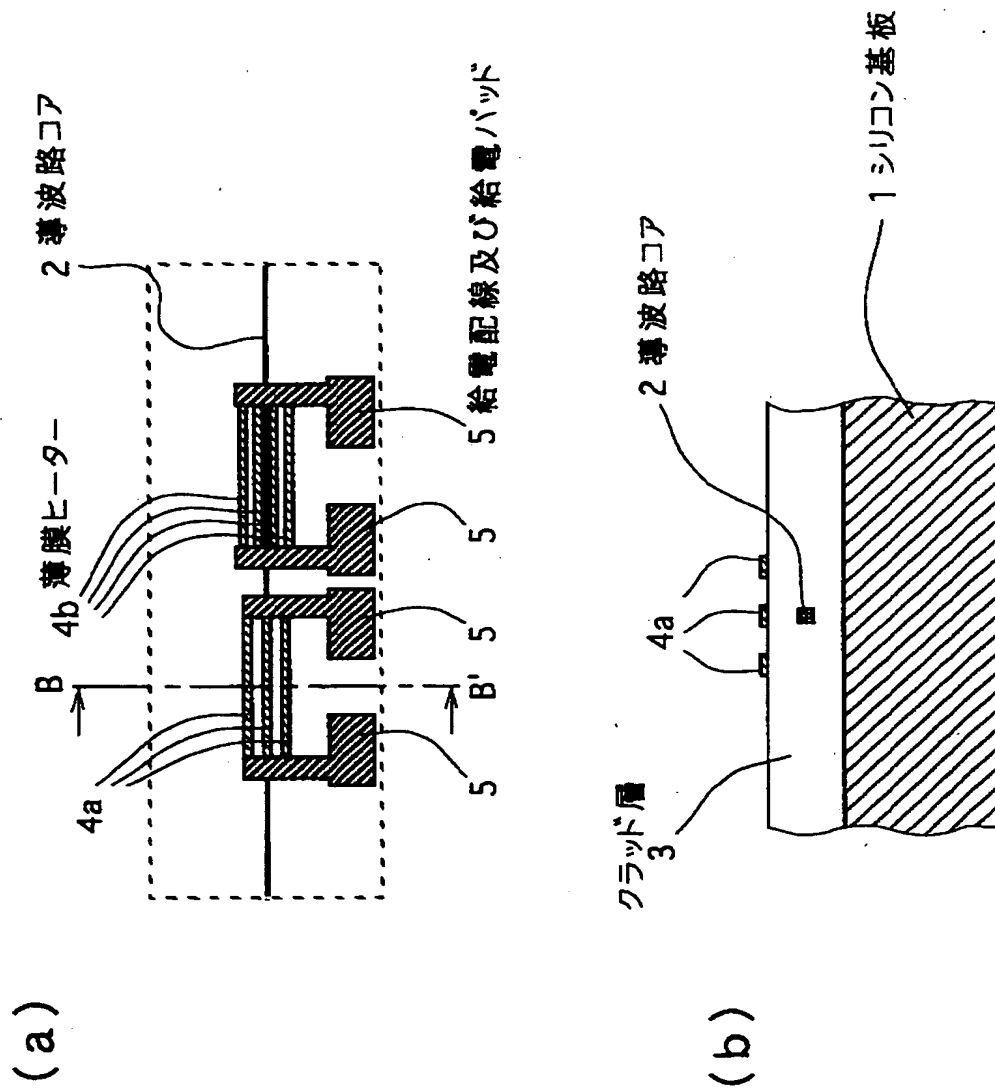
【図 9】



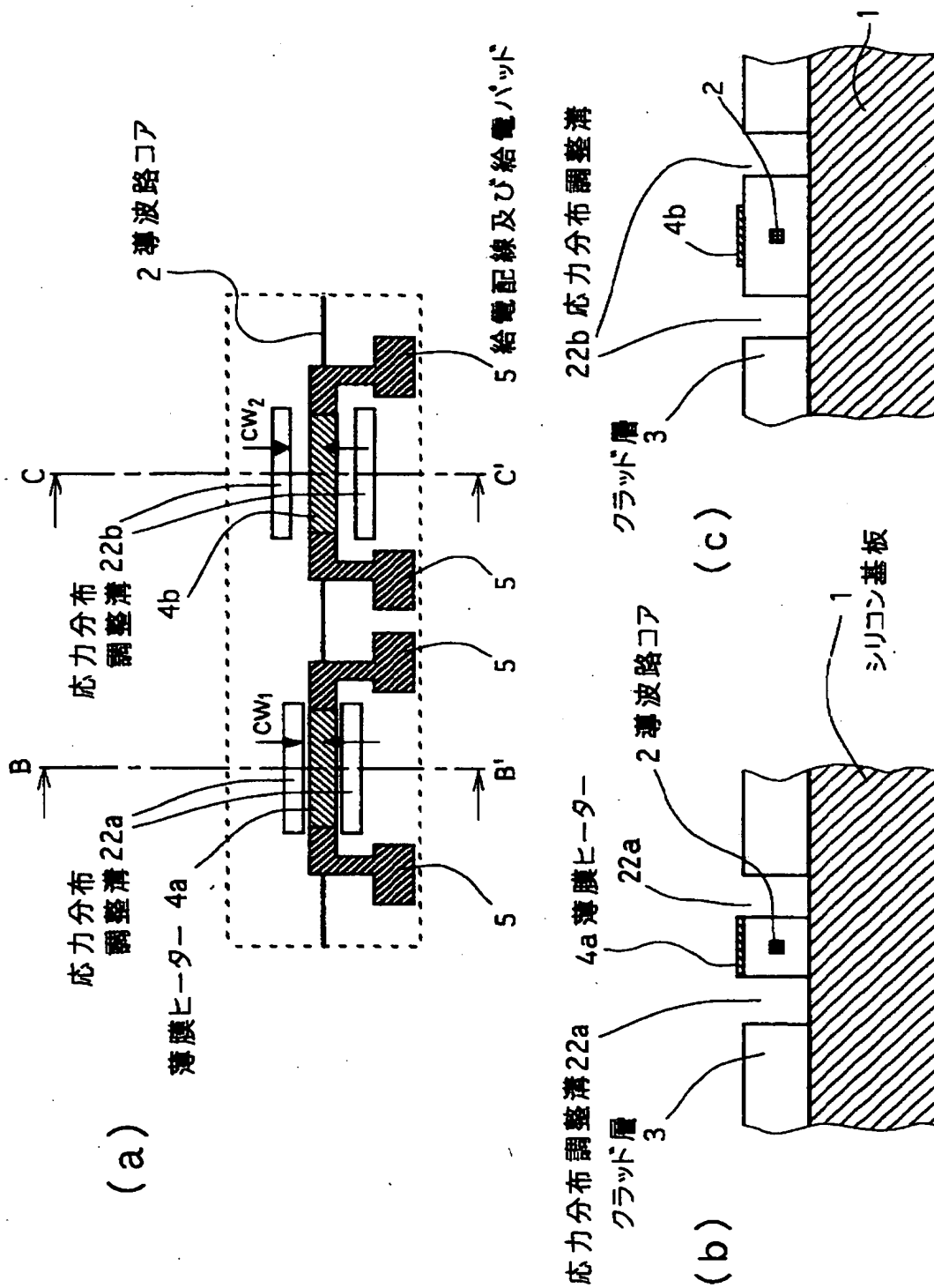
【図10】



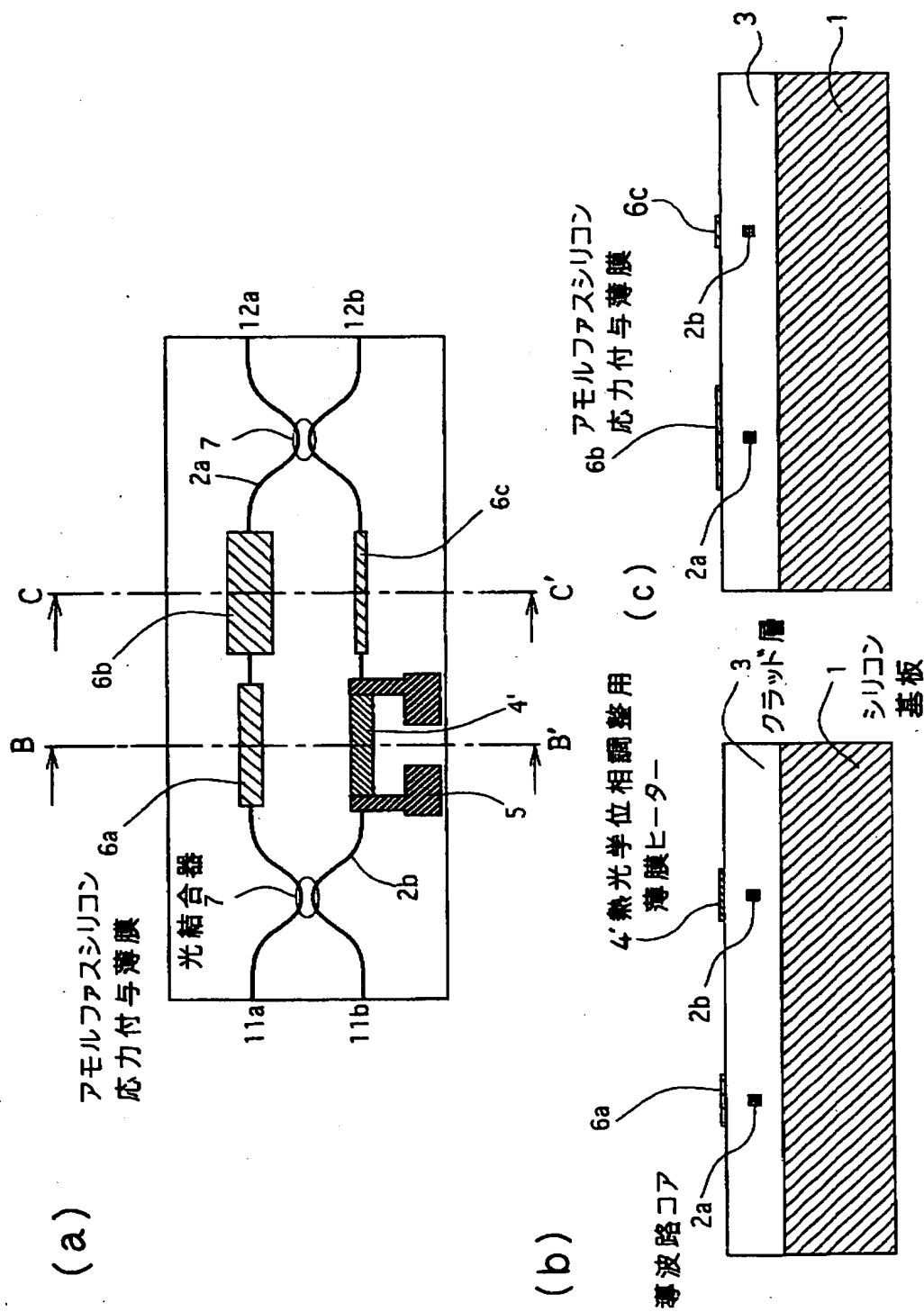
【図11】



【図 12】



【図13】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 T E 偏光と T M 偏光に対する光路長（位相）を独立に調整できるようにする。

【解決手段】 導波路コア 2 の直上には、幅が W_1, W_2 と異なる 2 種類の加熱処理領域としての薄膜ヒーター 4 a, 4 b が備えられている。薄膜ヒーター 4 a, 4 b に、通電をして加熱処理をすると、クラッド層 3 が変質し、導波路コア 2 に加わる応力が変化し、偏光依存性を制御することができる。したがって、薄膜ヒーター 4 a, 4 b の幅や通電量を変えることにより、T E 偏光と T M 偏光を独立させて恒久的な実行屈折率（複屈折率）制御を行うことができる。これにより、例えば T M は位相差 $\lambda / 2$ 、T E は位相差ゼロに併せ込むことができる。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004226]

1. 変更年月日 1999年 7月15日

[変更理由] 住所変更

住 所 東京都千代田区大手町二丁目3番1号

氏 名 日本電信電話株式会社